

doi: 10.7690/bgzdh.2014.05.018

基于多尺度局部边缘梯度的红外舰船目标检测

邢莎, 吉林, 雍杨, 龚涛, 袁佳
(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 由于红外图像本身对比度和清晰度都较低, 再加上海天场景的复杂多变, 极大增加了海天背景下的红外舰船目标检测难度。为实现对多种复杂海天背景下的红外舰船的有效检测, 提出了一种新的基于局部边缘梯度特性的舰船目标检测算法。对多种红外复杂海天场景图像进行仿真测试, 实验结果表明: 该算法能有效地检测出多种复杂海天背景下的红外舰船目标, 适应性广, 计算简便。

关键词: 舰船目标检测; 红外图像; 多尺度特征; 边缘梯度
中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Infrared Warship Target Detection Based on Multi-Scale Edge Gradient

Xing Sha, Ji Lin, Yong Yang, Gong Tao, Yuan Jia
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: Low contrast of infrared images and complicated sea-sky scene greatly increased the difficulty of infrared warship target detection with complicated sea-sky background. In order to detect infrared warship under various complicated sea-sky background effectively, this paper presents a new algorithm based on local edge gradient. Carry out simulation testing by multi infrared complex sea-sky background image. Experimental results indicated that this algorithm can extract the warship under various complicated sea-sky background effectively, has good adaptation, and easy calculate.

Keywords: warship target detection; infrared image; multi-scale characteristic; edge gradient

0 引言

近年来, 红外舰船目标检测是国内外关注的热点问题。然而, 由于受到海浪、海面杂波及太阳光反射等多种因素的影响, 使得海面场景变得极为复杂, 极大地增加了海天背景下的舰船目标检测难度。文献[1-2]均以提取海天线为前提, 然后在海天线附近进行检测确定出舰船目标。但是在海天线不明显或者受亮带干扰严重的情况下, 此方法会发生误检增加计算量, 在海天线不可见的情况下, 此方法会失效。文献[3]只针对强鱼鳞波背景下红外小目标舰船进行检测, 利用基于统计的杂波抑制方法进行背景抑制, 来增强舰船目标的检测概率。

为了能够有效地提取舰船目标, 笔者提出了一种基于多尺度边缘梯度的目标检测算法。由于红外舰船目标图像受到大量海杂波以及随机噪声的干扰, 信噪比往往比较低。为了便于后续的舰船目标的检测, 先用巴特沃斯自适应滤波对图像进行预处理, 提高图像信噪比, 然后进行边缘检测^[4], 利用边缘以及边缘梯度统计特性检测出舰船目标。

1 自适应 Butterworth 高通滤波

1.1 算法原理

自适应 Butterworth 高通滤波^[5]根据不同图像的

复杂度在频域中自适应调节截止频率 D_0 的值, 达到改善滤波性能的目的。用方差加权信息熵与平均方差加权信息熵描述背景复杂度, 通过将方差加权信息熵、平均方差加权信息熵与 D_0 之间建立函数关系, 来计算不同红外海天场景图像对应的 Butterworth 滤波器截止频率 D_0 , 从而实现对不同红外海天背景图像的自适应 Butterworth 滤波。

令 1 幅图像有 n 个灰度级, 用 P_s 表图像灰度值 s 出现的概率, 则图像中所含像素值组成的集合 S 的概率空间为:

$$[S \cdot P]: \begin{cases} S: & 0 & 1 & \dots & s & \dots & n-1 \\ P(S): & P_0 & P_1 & \dots & P_s & \dots & P_{n-1} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $0 \leq P_s \leq 1$, $\sum_{s=0}^{n-1} P_s = 1$ 。

定义方差加权信息熵:

$$H(S) = -\sum_{s=0}^{255} (s - \bar{s})^2 P_s \log P_s \quad (2)$$

其中: \bar{s} 为图像灰度平均值; P_s 表图像灰度值 s 出现的概率。规定, 当 $P_s = 0$ 时, $P_s \log P_s = 0$ 。

平均方差加权信息熵:

$$\bar{H}(S) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H(S_{M_i}) \quad (3)$$

式中 S_{M_i} 表示图像 M_i 中各个像素灰度值的集合。当

一幅红外图像比较大时，将图像分为若干子图像，这样可以更好地对图像复杂度进行描述。通常只需方差加权信息熵便可很好地描述背景复杂度。

对所研究的红外海天场景图像，选取一些较典型且复杂程度不相同的实际图像，如平缓的天空和海面背景、存在光照强度和复杂变化的海杂波背景等，分别计算其对应的方差加权信息熵 $H(S)$ ，并测试其对应适合的截止频率值 D_0 ，由简单的分段函数拟合法拟合出 $H(S)$ 与 D_0 间对应分段线性函数：

$$D_0 = \begin{cases} 1 & H(S) \leq 500 \\ 0.0028H(S) - 0.4 & 500 < H(S) \leq 800 \\ 0.0008H(S) + 1.2077 & 800 < H(S) \leq 2000 \\ 0.00196H(S) - 1.1123 & 2000 < H(S) \leq 6000 \\ 0.00215H(S) - 2.2523 & 6000 < H(S) \leq 7350 \\ 0.00075H(S) + 8.0375 & H(S) > 7350 \end{cases} \quad (4)$$

这样，在对一副图像进行预处理时，首先计算出其对应的方差加权信息熵，然后根据式 (4) 得到其对应的合适的 D_0 ，实现对图像的 Butterworth 自适应滤波处理。

1.2 算法分析

对于单帧图像的滤波方法主要有空域滤波和变换域滤波 2 种。其中，空域滤波的实时性较好，但对于复杂的场景，其滤波效果往往不能满足后续处理的需要。变换域滤波通过解析图像频率实现滤波，对于复杂的背景(如海杂波等)则表现出较好的滤波效果，能有效提升信噪比。

二阶 Butterworth 高通滤波是变换域滤波的一种，有较好的高通滤波效果，而且振铃现象微小，滤波特性灵活多变，但截止频率 D_0 的取值往往要通过大量的人为实验才能选取到合适的值，达到较好的滤波效果。自适应 Butterworth 高通滤波通过自适应改变截止频率，实现对不同背景下的红外图像的有效滤波，具有更好的自适应性与普遍适用性。而且相对于其他复杂的变换域滤波(如小波模预处理)，它更为简单且易于实现。

2 基于边缘梯度特性的舰船目标检测

2.1 初始目标区域提取

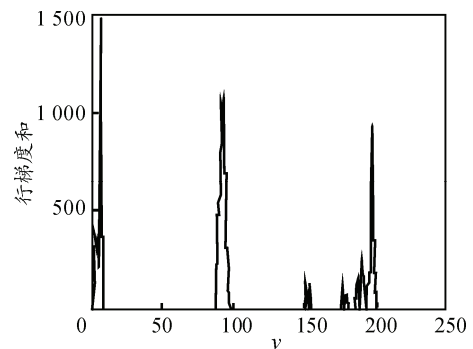
红外舰船目标成像一般是由天空区域、海天线区域和海面区域组成^[6-7]，而舰船目标大多出现在海天线或者海面上。这样，对于舰船目标检测而言，主要是受到海天线以及海杂波的干扰。海天线是天空与海面交界的一条窄带，一般呈水平或近似水平

分布。对于海杂波，根据水纹的物理特性，它多呈现出水平分布。通过分析发现，海天线与海杂波都在垂直方向表现出较高梯度，而在水平方向则表现出较小的梯度甚至为零。笔者针对复杂海天背景下具有一定大小(大于 10×10 个像素)的红外舰船目标进行检测，这样需要检测的舰船目标往往具有一定的面积，再加上受发动机机舱热辐射的影响使得舰体相对周围背景具有较高的灰度值，故而，对于舰船目标，其边缘在水平和垂直方向都表现出较高梯度。对比上述海天线、海杂波与舰船目标梯度特征的区别发现，它们在水平方向表现出较大差异，而在垂直方向则相近；因此，笔者通过边缘水平梯度的统计特性来获取舰船目标的初始区域。

舰船目标在图像中占有一定的宽度与高度，选取适当大小的矩形窗口对图像进行遍历，窗口长和宽分别用 M_width (像素)、 M_length (像素)表示。若对整副图像进行遍历，必然影响算法的执行速度，而且计算量也会增大。由于包含舰船目标信息的图像行梯度和必然比较大；因此，考虑先对图像进行扫描，将进行边缘检测的图像梯度按行向 y 轴投影如图 1 所示。设定行梯度和阈值 Th_1 ，仅对大于阈值 Th_1 的图像区域进行遍历。



(a) 复杂海天背景下的红外舰船图像



(b) 图(a)边缘梯度投影累加和变化情况

图 1 红外图像边缘行梯度和投影

同样，为减小计算量、提高检测速度，笔者以 2 为步长进行遍历，通过找出局部边缘梯度和最大的区域确定初始目标区域。整个遍历过程如图 2。

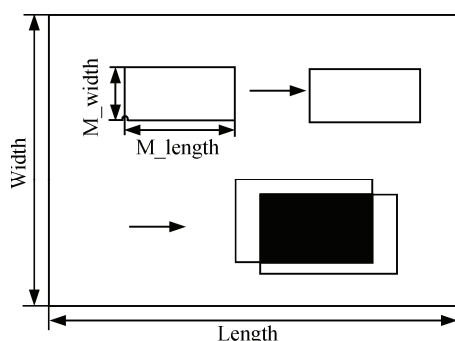


图2 基于边缘梯度的初始目标区域提取示意图

在遍历过程中，笔者通过计算出矩形区域所包含的边缘水平梯度值的和，找出梯度和最大的区域作为初始的舰船目标区域。水平梯度由多向梯度^[8]公式(7)和(8)计算得到，并由公式(9)计算出边缘水平梯度和。

$$G_{x+}f(i, j) = |f(i + l_x, j) - f(i, j)| \quad (5)$$

$$G_{x-}f(i, j) = |f(i - l_x, j) - f(i, j)| \quad (6)$$

$$G_{y+}f(i, j) = |f(i, j + l_y) - f(i, j)| \quad (7)$$

$$G_{y-}f(i, j) = |f(i, j - l_y) - f(i, j)| \quad (8)$$

其中： $f(i, j)$ 表图像中像素点 (i, j) 对应的灰度值； $G_{x+}f(i, j)$ 、 $G_{x-}f(i, j)$ 、 $G_{y+}f(i, j)$ 、 $G_{y-}f(i, j)$ 分别表示垂直正、负，水平正、负方向的梯度； l_x 、 l_y 分别为垂直和水平步长，这里取1。

$$S_{\text{gradient}} = \frac{1}{MN} \sum_{i \in D} \sum_{j \in D} (G_{y+}f(i, j) + G_{y-}f(i, j)) \quad (9)$$

其中： D 表示矩形区域； M 、 N 分别对应区域 D 内所包含的图像行数和列数。

由于未知舰船目标大小，矩形的宽度和长度分别选整幅图像长度的1/10与宽度的1/8，这样选取的矩形区域可能大于或小于舰船目标，因此在遍历过程中，包含最大边缘水平梯度和的矩形区域会有一个交集，这个交集即为初步得到的舰船目标区域如图2中黑色区域所示。

2.2 基于多尺度边缘梯度特性的目标检测

目标的初始区域是包含了一部分目标的区域，要检测出完整的舰船目标，还需要对初始目标区域进行扩展。从形状特征考虑，舰船目标的长度一般明显大于宽度。在初始区域选取时，宽度选取的大小一般刚好包含舰船目标的宽度，因而不需要进行宽度扩展只需进行长度扩展。由于初始区域不可能正好位于舰船目标正中部；因此，在进行多尺度自适应扩展时采用对左右两边分别进行扩展的方法。

随着尺度的增大，由于包含的舰船目标边缘不

断增多，其边缘梯度和也会不断增大，当刚好检测出完整的目标时，梯度和会趋于稳定。为了便于分析，利用相邻尺度区域包含边缘梯度和的差作为统计。理想情况下，当刚好检测出完整的舰船目标时梯度差为零。但是实际中的舰船目标周围往往有噪声的干扰，这时仅根据梯度差为零无法准确检测出完整的舰船目标。

分析边缘梯度差与所对应的区域尺度关系如图3。在左右扩展时，必有一边的梯度差先为零，考虑对称性，设定扩展步数差值阈值。令扩展步数为 n ，当两边梯度差为零且对应的扩展步数差值的绝对值小于阈值，此时的矩形区域即为检测出的完整舰船目标。当两边梯度差为零，而对应的扩展步数差值的绝对值大于阈值时，则较小扩展步数的一边为获得的定位目标的一个边界。另一边，根据对称性，在扩展步数小于阈值的范围内，寻找边缘梯度差与所对应的区域尺度的关系图中梯度差下降率最大的点，其对应的尺度即为定位舰船目标的另一边界。

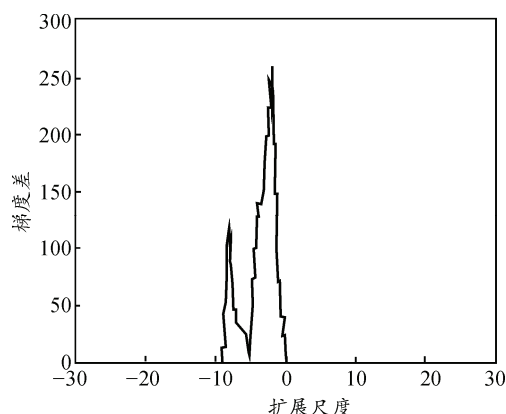


图3 图1(a)所示红外图像对应的梯度差—扩展尺度关系

2.3 舰船目标检测总体流程

所谓感兴趣区域^[9]就是指包含一定目标信息的区域。笔者根据感兴趣区域的思想，提出首先划分出目标初始区域即包含部分目标的区域，然后再对初始区域进行多尺度自适应扩展，最终确定出包含完整舰船目标的最小矩形目标区域。算法的基本思想：首先利用目标边缘的梯度特性得到初始的目标区域，然后根据多尺度目标区域梯度的变化与区域尺度的关系最终确定出包含完整目标的最小舰船目标区域，检测出舰船目标。算法流程图如图4所示。

3 实验结果与分析

对图1(a)所示的同时受太阳光反射的强海杂波影响以及云层干扰的复杂海天背景下的红外舰船目标图像进行了Matlab仿真实验，实验结果如图5。

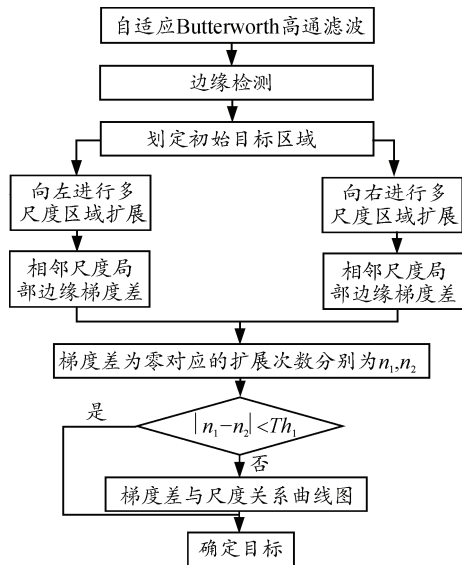


图 4 舰船目标检测算法流程

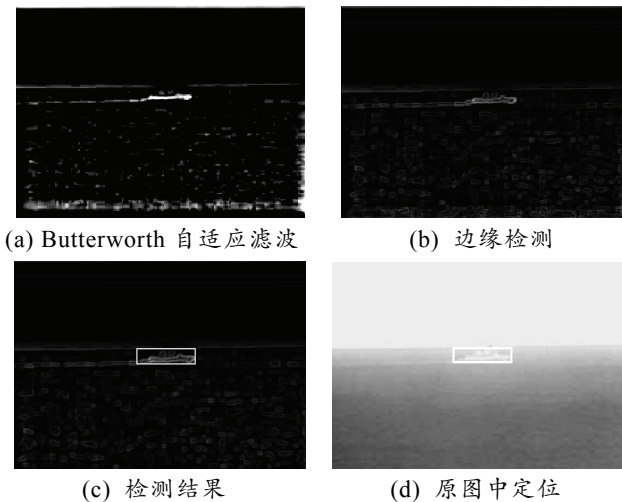


图 5 基于文中算法的舰船目标检测

由图 5(a)可见用巴特沃斯自适应滤波对图像进行预处理，排除了大量的背景杂波干扰。图 5(b)为 Sobel 边缘检测后的图像。可见运用 Sobel 算子进行边缘检测，能够保留较为完整的舰船目标边缘，有利于后续的检测。图 5(c)给出了舰船目标的检测结果。图 5(d)为在原图中进行标记，结果表明本算法能够有效检测、定位出舰船目标。

为验证算法的通用性，对多种不同复杂海天场景下的红外舰船目标图像进行了 Matlab 仿真实验。图 6(a)是 3 种不同典型复杂海天场景下的红外舰船目标图像，其中第 1 幅图像整体灰度值较低且比较模糊，目标灰度值也较低；第 2 幅图像整体对比度较高，干扰较小且目标相对较大；最后一幅图像中存在大量呈亮带干扰且图像整体比较模糊。图 6(b)给出了 3 种不同场景下的舰船目标检测结果。由实验结果可见，本算法能够适应多种复杂海天背景图

像，准确地检测和定位出舰船目标。

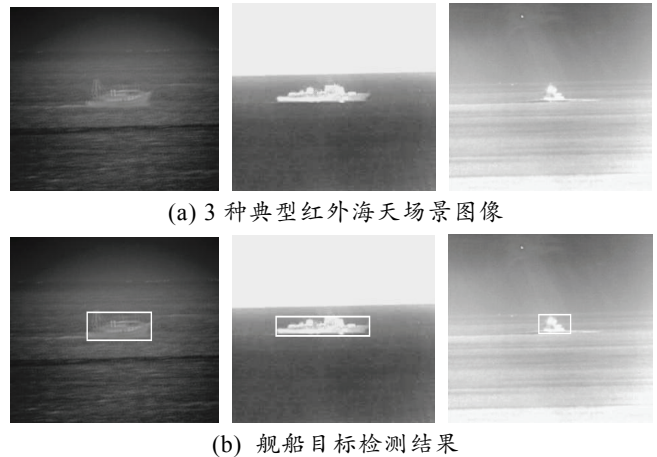


图 6 不同场景下的红外舰船目标检测

4 结论

舰船目标检测对舰船目标识别与跟踪具有重要意义。笔者在巴特沃斯自适应滤波对图像进行预处理的基础上，对图像边缘检测，根据边缘以及边缘梯度特征确定舰船目标。该方法运算简便，对不同场景有很好的适应力，并能较好地抵抗大面积云团、水面亮带、海杂波等的干扰，有利于后续的目标识别与跟踪。与此同时，该算法简单，未涉及复杂的数学运算，易于实现，能够满足实际工程的需要。

参考文献:

- [1] 杨明月, 杨卫平. 复杂海天背景下红外舰船目标的自动检测方法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 638-641.
- [2] 黄文韵, 马惠敏, 王生进. 海面背景红外目标的识别算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2009, 49(10): 1609-1613.
- [3] Sungho Kiml, Taek Lyul Song, Byungin Choi, et al. Spatio-Temporal Filter Based Small Infrared Target Detection in highly Cluttered Sea Background[C]. 11 th International Conference on Control, Automation and Systems, Korea, Oct. 26-29, 2011: 1142-1146.
- [4] Theo Pavlidis, Yuh-Tay Liow. Integrating Region Growing and Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(3): 225-233.
- [5] 杨磊. 复杂背景条件下的红外小目标检测与跟踪算法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006: 30-44.
- [6] 陈清华, 谢晓方, 肖楚璇, 等. 基于海天/海岸线检测的舰船目标提取方法[J]. 红外, 2011, 32(6): 39-43.
- [7] 毛德耀, 林广积, 何舍炳, 等. 基于排队论的舰船装备维修保障模型[J]. 兵工自动化, 2012, 31(6): 35-37.
- [8] 卓志敏, 缪德超, 杨莘元. 一种复杂海面背景下的红外舰船目标检测方法[J]. 传感技术学报, 2007, 20(8): 1934-1936.
- [9] 左峥嵘, 张天序. 基于兴趣区检测的地面目标识别方法研究[J]. 红外技术, 2004, 26(3): 33-36.